

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 09-304640

(43) Date of publication of application : 28.11.1997

-----  
(51) Int.Cl. G02B 6/18

G02B 6/22

-----  
(21) Application number : 09-016426 (71) Applicant : CORNING INC

(22) Date of filing : 30.01.1997 (72) Inventor : LIU YANMING

-----  
(30) Priority

Priority number : 96 6561

Priority date : 12.02.1996

Priority country : US

-----  
(54) SINGLE-MODE OPTICAL WAVEGUIDE WITH LARGE EFFECTIVE AREA

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a single-mode optical waveguide fiber which has an extremely large effective area by using a model for predicting characteristics for segmented core design to obtain a family of core design.

**SOLUTION:** The single-mode optical waveguide fiber has a 1550nm operation window composed of a core having a core refractive index distribution divided into three small core segments 8, 2, and 4 and a clad layer having a clad refractive index distribution where at least a part of the core refractive index distribution is larger than at least a part of the refractive index distribution and at least one core segment of the core refractive index distribution is much smaller than its minimum refractive index. Thus, the low-dispersion is obtained which has effective area of approximately 90 square microns with the 1550nm operation window, approximately a 1.3 ratio of the effective area to a mode power area, and low dispersion for operation over a wavelength range of

1530 to 1565nm.

-----  
LEGAL STATUS [Date of request for examination] 12.01.1998  
[Date of sending the examiner's decision of rejection] 14.02.2002  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application  
converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(11)特許出願公開番号

特開平9-304640

(43)公開日 平成9年(1997)11月28日

### 技術表示箇所

G 0 2 B    6/18  
6/22

審査請求 未請求 請求項の数16 O.L (全 12 頁)

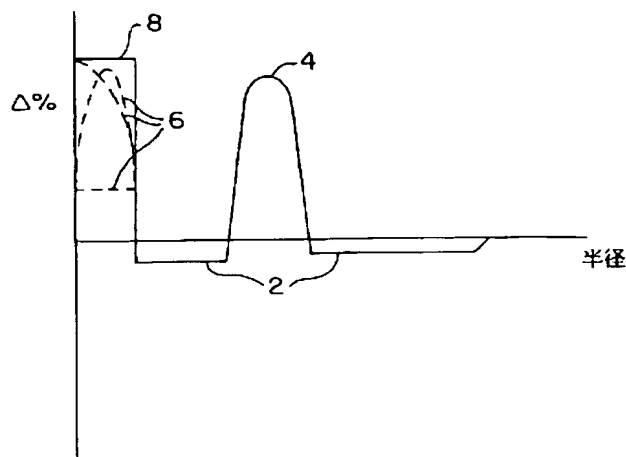
(74) 代理人 弁理士 藤村 元彦

(54) 【発明の名称】 大きい実効面積を有する単一モード光導波路

(57) 【要約】

【課題】 大きい実効面積を有する単一モード光導波路を提供する。

【解決手段】 大きい実効面積は、セグメント化されたコア分布設計を使うことによって達せられる。それは、クラッド層の極小の屈折率よりさらに少なく屈折率を有する少なくとも1つのセグメント、又は1つのセグメントの一部を含む。大きい実効面積は再生器間隔及びビットレートを制限する有害な非線形光導波路効果を減らし又は排除するのに役立つ。大きい実効面積は、少なくとも基準ステップ屈折率単一モード導波路ファイバの屈曲抵抗と同じぐらい良い屈曲抵抗を持続しつつ達せられる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率分布が少なくとも3つのコアセグメントに小分割されたコア屈折率分布を有するコアと、前記コア屈折率分布の少なくとも一部がその屈折率分布の少なくとも一部より大きくかつ前記コア屈折率分布の少なくとも1つの前記コアセグメントがその極小の屈折率よりさらに小さい極小の屈折率を有しているクラッド屈折率分布を有するクラッド層と、からなる1550nm動作窓を有する単一モード光導波路ファイバであって、

1550nm動作窓で約90平方ミクロンより大きい実効面積を有しかつモードパワー領域に対する実効面積の比が約1.3より大きく、1530nmから1565nmの波長範囲にわたる動作のための低分散の導波路ファイバをなすことを特徴する単一モード光導波路ファイバ。

【請求項2】 前記コア屈折率分布は5つのコアセグメントに小分割され、隣接していない2つのコアセグメントの極小の屈折率は前記クラッド層の極小の屈折率より小であり、それぞれのコアセグメントにおける導波路ファイバ中央線上のゼロ基準点からの最後の点は、 $a$ がコアの半径であるそれぞれ、 $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 及び $a$ の半径として画定されることを特徴する請求項1記載の単一モード光導波路ファイバ。

【請求項3】 第1のコアセグメントはゼロ基準点から半径 $a_0$ の点までとして画定されかつ $n_0$ の一定の屈折率を有し、第2のコアセグメントは幅 $(a_1 - a_0)$ 及び極大屈折率 $n_1$ の丸いステップ屈折率分布を有し、第3のコアセグメントは幅 $(a_2 - a_1)$ 及び一定の屈折率 $n_2$ を有し、第4のコアセグメントは丸いステップ屈折率分布及び極大屈折率 $n_3$ 及び幅 $(a_3 - a_2)$ を有し、第5のコアセグメントは幅 $(a - a_3)$ 及び一定の屈折率 $n_4$ を有していることを特徴する請求項2記載の単一モード光導波路ファイバ。

【請求項4】 前記クラッド層は一定の屈折率 $n_c$ を有し、 $n_0$ 及び $n_2$ は $n_c$ より小であり、又は $n_0$ 及び $n_4$ は $n_c$ より少しであり、 $n_2$ 及び $n_4$ は $n_c$ より小であることを特徴する請求項3記載の単一モード光導波路ファイバ。

【請求項5】 前記コアセグメントは $\Delta_0\%$ 、 $\Delta_1\%$ 、 $\Delta_2\%$ 、 $\Delta_3\%$ 及び $\Delta_4\%$ の屈折率 $\Delta\%$ によってそれぞれ画定され、

第1のコアセグメントは約0から0.2%の範囲の $\Delta_0\%$ 及び約0.50から1.5ミクロンの範囲の $a_0$ を有し、第2のコアセグメントは約0.5%から1.2%の範囲の $\Delta_1\%$ 及び約0.50から4.5ミクロンの範囲の $a_1$ を有し、

第3のコアセグメントは約-0.1未満の $\Delta_2\%$ 及び約6から12ミクロンの範囲にある $a_2$ を有し、

第4のコアセグメントは約0.2%から0.8%の範囲の

$\Delta_3\%$ 及び約7から16ミクロンの範囲の $a_3$ を有し、第5のコアセグメントは約-0.1未満の $\Delta_4\%$ 及び約13から26ミクロンの範囲の $a_4$ を有し、並びにコア半径 $a$ は約25から35ミクロンの範囲にあることを特徴する請求項4記載の単一モード光導波路ファイバ。

【請求項6】 前記コア屈折率分布は4つのコアセグメントに小分割され、隣接していない2つのコアセグメントの極小の屈折率は前記クラッド層の極小の屈折率より小であり、それぞれのコアセグメントにおける導波路ファイバ中央線上のゼロ基準点からの最後の点は、 $a$ がコアの半径であるそれぞれ、 $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 及び $a$ の半径として画定されることを特徴する請求項1から5のいずれか1記載の単一モード光導波路ファイバ。

【請求項7】 前記コアセグメントの各々が $\Delta\%$ を有し、

第1のコアセグメントはアルファ輪郭及び約0.7%から1.2%の範囲の $\Delta_0\%$ 及び約1.5から3.5ミクロンの範囲の $a_0$ を有し、

第2のコアセグメントは約-0.10未満の $\Delta_1\%$ 及び約6.5から11ミクロンの範囲の $a_1$ を有し、

第3のコアセグメントは約0.3%から0.8%の範囲の $\Delta_2\%$ 及び約7.5から14ミクロンの範囲の $a_2$ を有し、

第4のコアセグメントは約-0.10未満の $\Delta_3\%$ 及び約10から32ミクロンの範囲の $a_3$ を有し、並びに $a$ は約25から35ミクロンの範囲にあることを特徴する請求項6記載の単一モード光導波路。

【請求項8】 前記アルファ輪郭の第1のコアセグメントは台形状の準実効屈折率分布を有し、導波路ファイバ中央線において始まり外方へ進めて、台形状は約1から3ミクロンの範囲の半径大きさの水平部分及び隣接の直線傾斜部分を有し、 $\Delta_1\%$ は本質的に変化せず、 $a_0$ は約1.5から4.5ミクロンまでの範囲にあることを特徴する請求項7記載の単一モード導波路ファイバ。

【請求項9】 前記アルファ輪郭は反転された円錐形状で中央の屈折率くぼみを有し、円錐の円形の基底は0.10から1.0ミクロン範囲の半径を有することを特徴する請求項7記載の単一モード導波路ファイバ。

【請求項10】  $\Delta_0\%$ は約0.65%から1.0%の範囲にありかつ $a_0$ は約2.8から3.5ミクロンの範囲にあり、

第2のコアセグメントは約-0.1未満の $\Delta_1\%$ 及び約6から8ミクロンの範囲の $a_1$ を有し、

第3のコアセグメントは約0.50%から0.85%の範囲の $\Delta_2\%$ 及び約8から10ミクロンの範囲の $a_2$ を有し、

第4のコアセグメントは約-0.1未満の $\Delta_3\%$ 及び約13から16ミクロンの範囲の $a_3$ を有し、並びに $a$ は $a_4$ に等しいことを特徴する請求項7記載の単一モード導波路ファイバ。

10

20

30

40

50

【請求項 1 1】 アルファは 1 から 6 の範囲にあることを特徴する請求項 7、8、9 又は 1 0 記載の単一モード導波路ファイバ。

【請求項 1 2】 前記コア屈折率分布は 5 つのコアセグメントに小分割され、隣接していない 3 つのコアセグメントの極小の屈折率は前記クラッド層の極小の屈折率より小であり、それぞれのコアセグメントにおける導波路ファイバ中央線上のゼロ基準点からの最後の点は、 $a$  がコアの半径であるそれぞれ、 $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  及び  $a$  の半径として画定されることを特徴する請求項 1 記載の単一モード光導波路ファイバ。

【請求項 1 3】 前記コアセグメントはそれぞれ  $\Delta_0\%$ 、 $\Delta_1\%$ 、 $\Delta_2\%$ 、 $\Delta_3\%$  及び  $\Delta_4\%$  の屈折率  $\Delta\%$  によってそれぞれ画定され、  
第 1 のコアセグメントは  $0.1$  未満の  $\Delta_0\%$  及び約  $0.1$  から  $2.5$  ミクロンの範囲の  $a_0$  を有し、  
第 2 のコアセグメントは約  $0.50\%$  から  $1.2\%$  の範囲の  $\Delta_1\%$  及び約  $0.5$  から  $4.5$  ミクロンの範囲の  $a_1$  を有し、  
第 3 のコアセグメントは約  $0.1$  未満の  $\Delta_2\%$  及び約  $6$  から  $12$  ミクロンの範囲の  $a_2$  を有し、  
第 4 のコアセグメントは約  $0.2\%$  から  $0.8\%$  の範囲の  $\Delta_3\%$  及び約  $7$  から  $14$  ミクロンの範囲の  $a_3$  を有し、  
第 5 のコアセグメントは約  $0.1\%$  未満の  $\Delta_4\%$  及び約  $13$  から  $30$  ミクロンの範囲の  $a_4$  を有し、並びに  $a$  のコアの半径は約  $20$  から  $35$  ミクロンの範囲にあることを特徴する請求項 1 1 記載の単一モード光導波路ファイバ。

【請求項 1 4】 屈折率分布が少なくとも 3 つのコアセグメントに小分割されたコア屈折率分布を有するコアと、前記コア屈折率分布の少なくとも一部がその屈折率分布の少なくとも一部より大きくかつ前記コア屈折率分布の少なくとも 1 つの前記コアセグメントがその極小の屈折率よりさらに小さい極小の屈折率を有しているクラッド屈折率分布を有するクラッド層と、からなる単一モード光導波路ファイバであって、半径によって重みをかけられた電界強度を有し、重みをかけられた電界強度は 2 モードであることを特徴する単一モード光導波路ファイバ。

【請求項 1 5】 2 モードの重みをかけられた電界強度は少なくとも 2 つの別個の極大値を有していることを特徴する請求項 1 4 記載の単一モード光導波路ファイバ。

【請求項 1 6】 直径  $32$  mm マンドレルの周りの 1 回の光導波路の巻装によって誘発された屈曲損失が  $1550$  nm において  $0.05$  dB 以下であり、かつ直径  $75$  mm マンドレルの周りの  $100$  回の光導波路の巻装によって誘発された屈曲損失が  $1310$  nm において  $0.05$  dB 以下であり、かつ  $1550$  nm においてそれぞれ  $0.10$  dB 以下であることを特徴する請求項 1 又は 1 3 記載の単一モード光導波路ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は電気通信のための大きい実効面積、 $A_{eff}$  を有する単一モード光導波路ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】 大きい実効面積を有する単一モード導波路は、自己位相変調、4 波混合、相互位相変調と非線形分散処理を含む減小した非線形光学効果を有するであろう。これらの効果のそれぞれが高い電力システムにおける信号の劣化を起こす。一般に、信号を劣化させる分散処理は、 $c$  が定数でかつ  $P$  が信号パワーである項、 $\exp(cP/A_{eff})$  を含んでいる等式によって記述される。他の非線形効果は乗数の比  $P/A_{eff}$  を含む等式によって記述される。よって、 $A_{eff}$  の増加は光信号の劣化に対する非線形の寄与における減少を生む。

【0003】 要求される事項は、再生器無しで長距離上の大きい情報容量を求める電気通信産業では、単一モードファイバ屈折率分布設計の再評価に導いた。今までこの再評価の焦点は次の光導波路を供給することであった。

—上記したような非線形効果を減らす導波路。

—約  $1550$  nm の低減衰動作波長範囲に最適化された導波路。

—光増幅器と両立できる導波路。

—低減衰、高強度、疲労抵抗性及び屈曲抵抗をのような光導波路の望ましい特性を維持する導波路。

【0004】 アメリカ合衆国特許出願第  $08/378,780$  号に記載されているような以前の研究は、アメリカ合衆国特許第  $4,715,679$  号、バガバトウラ(Bhagavatula)で最初に紹介されたセグメント化されたコア設計の基本的概念から始められた。より大きい実効面積導波路は、上記第  $08/378,780$  号に記載したコア設計階層のために開発された。クラッドの屈折率より下の極小屈折率を有する少なくとも 1 つのコアを含む特定な設計は、かかる出願で明らかにされた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 極小のクラッド屈折率より低い屈折率の領域を有するコア屈折率分布設計のさらなる研究は、非常に大きい実効面積を有する導波路ファイバの 2 つの重要な特徴を明らかにした。第 1 の特徴は、半径によって重みをかけられたモードパワー分布、すなわち、 $E$  が電界、 $r$  が半径である  $E^2 \times r$  が半径に対して図示される時、少なくとも 2 モードになるような特有な特性を有することである。2 モードのモードパワー分布は、二重ピークとして又は隣接した平らな肩を有した 1 つのピークとして起こり得る。モードパワー分布が導波路の屈折率分布で含まれた導波構造によって決定されると、理解されるであろう。屈折率分布は公知で、2 モードのパワー分布より複雑なモードパワー分布特性

曲線を有する。新規で非常に大きい実効面積導波路は、同じく、1.3より大きい $A_{eff}$ 対 $A_{cl}$ 比(下の定義参照)によって特徴付けられる。

【0006】これらの重要な特徴を使って、セグメント化されたコア設計のために特性を予言するモデルはコア設計のファミリーを得るために使われ、コア設計は、 $A_{eff}$ 、モードパワー分布(すなわち電界の強さパワー分布)、非常に高い性能遠隔通信システムでの使用に適した導波路ファイバを特徴付ける実効面積対モードフィールド面積の比を有する。

【0007】

【課題を解決するための手段】

(定義) 実効面積は次式で示される。

【0008】

【数1】  $A_{eff} = 2\pi \left( \int E^2 r dr \right)^2 / \left( \int E^4 r dr \right)$

この式中、積分限界は0から無限であり、そしてEが伝搬光と協働する電界である。有効径 $D_{eff}$ は次式で定義される。

【0009】

【数2】

$$D_{eff} = 2 \left( A_{eff} / \pi \right)^{1/2}$$

【0010】モードフィールド面積 $A_{eff}$ は $\pi (D_{eff}/2)^2$ であり、ここで $D_{eff}$ がピーターマン(Peterman) II法を使って測られるモードフィールド直径であり、 $2w = D_{eff}$ でかつ $w^2 = (2 \int E^2 r dr / \int [dE/dr]^2 r dr)$ であり、積分限界は0から無限である。比は $R = A_{eff} / A_{cl}$ である。

【0011】アルファ輪郭は次式で定義される。

【0012】

【数3】

$$n = n_0 (1 - \Delta (r/a)^\alpha)$$

【0013】式中、 $n_0$ がアルファ屈折率分布の最大屈折率で、デルタ $\Delta$ が上に定義されたもので、 $r$ が半径であり、そして $a$ がアルファ屈折率分布の第1の点から最後の点まで測定された半径である。アルファ屈折率分布の $n_0$ 点におけるゼロであるべき $r$ は選択でき、すなわち屈折率分布の第1の点が導波路中央線からの選択された距離と解釈される。1と等しいアルファ $\alpha$ を有するアルファ輪郭は三角形である。アルファが2である時、屈折率分布は放物線である。アルファの値が2より大きくなって6に接近するにつれて、屈折率分布はさらにほとんどステップ屈折率分布になる。真のステップ屈折率分布は無限のアルファによって記述されるが、約4から6までのアルファは実用目的のステップ屈折率分布のためにある。

【0014】屈折率分布セグメント即ちコアセグメントの幅は、屈折率対半径のグラフの屈折率分布の各開始及び終了点から水平軸へ引き出された2鉛直線の間の距離である。%屈折率デルタ即ち% $\Delta$ は、次式で示される。

【0015】

【数4】  $\% \Delta = [(n_1^2 - n_c^2) / 2 n_1^2] \times 100$

この式中、 $n_1$ がコアの屈折率であり、 $n_c$ がクラッドの屈折率である。特に述べられないなら、 $n_1$ は% $\Delta$ によって特徴づけられるコアの領域での極大屈折率である。

【0016】屈折率のためのゼロ基準はクラッドガラス層での極小の屈折率として選択される。この極小の値未満のコアにおける屈折率の領域は負の値を割り当てられる。一般に屈折率分布は、形状が異なる関連づけられた実効屈折率分布を有している。実効屈折率分布は、導波路性能を変えことなくその関連づけられた屈折率分布の代りに用いられ得る。「単一モード光ファイバ(Single Mode Fiber Optics)」、マーセルデッカー社 (Marcel Dekker Inc.)、ルーク ビー・ユンホーム(Luc B. Jeunhomme)、1990年、第32頁、セクション1.3.2を参照。

【0017】屈曲性能は、導波路ファイバをマンドレルに巻くことによって誘発された減衰が判断される基準テスト方法によって決定される。基準テストは、32mmマンドレル周りに1回巻く屈曲及び75mmマンドレル周りに100回巻く屈曲を伴う導波路ファイバについて性能が調べられる。屈曲により誘発された最大許容減衰は通常、動作窓において約1300nm及び約1550nmで指定される。

【0018】他の曲り試験は、屈曲に対して導波路ファイバの相対抵抗を比較するために使われるピンアレイ曲り試験である。このテストを実行するために、減衰損失は、誘発した損失が本質的にない導波路ファイバに対して測定される。そして導波路ファイバはピンアレイ周りに織り込まれ、再び減衰が測定される。屈曲によって誘発された損失は2つの測定された減衰の間の差分である。ピンアレイは、単一列で整列されて平坦面上に固定垂直位置で保持された10本の円筒状のピンのセットである。ピン間隔は中心から中心で5mmである。ピン直径は0.67mmである。テスト中、十分な応力が導波路ファイバをピン曲面の一部に従わせるために付与される。

(本発明の概要) 本発明は、それらの非線形の導波路効果により導入された問題を効率的に解くことによって及び遠距離通信システム設計の中に光増幅器の導入によって、非常に高性能な光導波路ファイバの要望を満たす。

【0019】この要望は、標準単一モードステップ屈折率導波路ファイバのそれに少なくとも相当する屈曲性能を依然と保守するとともに、非常に高い実効面積を有する単一モード光導波路ファイバを提供することによって満たされる。同じく、減衰は長い再生器間隔を許容するのに十分低くなくてはならず、そしてファイバ強度を必要とし、そして疲労抵抗が持続されなくてはならない。

【0020】特に、基準32mmマンドレルへの1回巻きの曲げ試験においては、下記実施例は、1550nm測定波長において0.05dB以下の屈曲による誘発損

失を有する。同じく、100回巻きの75mmマンドレル試験においては、屈曲誘発減衰は1310nmにおいて0.05dB以下、及び1550nmにおいて0.10dB以下である。これらの結果は基準ステップ屈折率ファイバのそれらと等しい。

【0021】よって本発明の第1局面は、少なくとも3つの別個のセグメントを有するコアを有する単一モード光導波路ファイバである。セグメントは、特定な半径間隔上に画定される屈折率分布によってお互いに区別される。屈曲性能を犠牲にしないで大きい実効面積を供給する特徴は以下のものである。一方はクラッドの極小屈折率よりさらに少ない屈折率部分を有する少なくとも1つのセグメントのコアでの存在である。

【0022】他方はクラッドの極大屈折率より大きい屈折率部分を有する少なくとも2つのセグメントである。電界パワーがより大きいコア面積に分配されるけれども、正及び負の屈折率コア部の結合の存在は、屈曲損失要件を十分満たす伝搬光を導くのに役立つ。一般に、少なくとも3の別個のコア部を有しかつ負の屈折率を有する少なくとも1つのコア部を有する本発明のファイバは、以下の特性を有している。

【0023】減衰は基準ステップ屈折率単一モード導波路ファイバのそれに相当する。屈曲損失は基準ステップ屈折率単一モード導波路ファイバのそれ以下である。重みをかけられた電界分布は、例えば、図4の曲線24に示すように、少なくとも2モードのパワー分布である。実効面積は1550nm動作窓で90平方ミクロンより大きく、そしてその窓で350平方ミクロンを超えてもよい。

【0024】比 $R = A_{eff} / A_{cl}$ は約1.3より大きく、そして3.7を超えてもよい。一般に、1550nm動作窓は約1530nmから1565nmの波長範囲を含む。この第1局面の望ましい実施例のファミリーは、4又は5つの別個の屈折率セグメントを含んでいるコアを有する。これらの実施例のそれぞれにおいて、2つの隣接していないセグメントは負の屈折率を有している。各セグメントが屈折率 $\Delta\%$ 及び導波路ファイバ半径に沿って測った幅によって特徴づけられる。

【0025】セグメントは、屈折率分布の形、屈折率 $\Delta\%$ 及び各コアセグメントでの導波路中心のゼロ半径点から最終の要点まで測ったセグメント半径に関して記述され得る。各セグメントの幅は半径における差分から見いだされる。例えば、もし $a_0$ が第1のコアセグメントの最後の点に描かれる半径であり、そして $a_1$ が第2のコアセグメントの最後の点に描かれる半径であるなら、 $a_1 - a_0$ は第2のセグメントの幅である。

【0026】5セグメント実施例において、セグメントのそれぞれは、本質的にステップ状である屈折率分布を有し、すなわち、各セグメントが一定の屈折率によって特徴づけられる。導波路コアの製造中のドーパントの拡

散のために、ステップの曲がり角(corners)は丸められ、すなわち、曲線状である。一般に、丸め(rounding)の少量は導波路ファイバ性能に影響を与えない。丸くすることが重要である場合、丸められた屈折率分布の数学的記述は、特定なセグメント化されたコア導波路の特性を計算するために用いられた設計に入れられる。

【0027】新規な屈折率分布の実施例を分析することにおいてされた重要な発見は、中央線屈折率分布、すなわち、第1のコア領域セグメントが望ましい導波路性能を保持しつつ図1の線8及び6に示したようにいろいろな形を有し得るということである。一般に、特定な導波路屈折率分布部は関連づけられた等価屈折率分布を有している。上記定義参照。特定な屈折率分布形状を開示及び請求することは、開示及び請求において、関連する均等物を含むと理解されるであろう。

【0028】4及び5セグメントコアのための屈折率 $\Delta\%$ 及び幅の範囲の特定設定がここに与えられる。しかしながら、本質的に必要とされる $A_{eff}$ 、R値及び電界分布を供給する無限数の分布があると理解されるであろう。1つは機能的なコア設計をとって、そして重要な導波路特性を特定の標的範囲外に動かさないで、幅又はセグメント置換又はセグメント屈折率分布又は屈折率 $\Delta\%$ での調整をになすことができる。従って、ここに与えられた受容できるコア設計のファミリーが特定の導波路ファイバ官能性を供給するように関連した設計を含むと、理解されるであろう。

【0029】下記の実施例のそれぞれにおいて、 $\Delta\%$ が割り当てられる時はいつでも、クラッド層は実質的に一定の屈折率 $n_c$ を有する。4つのコアセグメントを有する光導波路のファミリーが例外的に高い $A_{eff}$ と良い屈曲抵抗を有していることが見いだされ、そして以下の特徴を有する。第1のコアセグメントは、導波路ファイバ中央線に始まって、アルファ輪郭と約0.7%から1.2%の範囲で $\Delta_0\%$ とを有しかつ、約1.5から3.5ミクロンの範囲で $a_0$ を有すること、第2の隣接のコアセグメントは、約-0.10%未満の $\Delta_1\%$ を有しかつ、約6.5から11ミクロンの範囲で $a_1$ を有すること、第3のコアセグメントは、約0.3%から0.8%の範囲で $\Delta_2\%$ を有しかつ、約7.5から14ミクロンの範囲で $a_2$ を有すること、第4のコアセグメントは、約-0.10%未満の $\Delta_3\%$ を有しかつ、約10から32ミクロンの範囲で $a_3$ を有すること、及び半径 $a$ は約35ミクロン以下であることである。

【0030】この4セグメントコアファミリーの望ましいパラメタが下表のパラメタを有している。

【0031】

【表1】

0.65%から1.0%の範囲の $\Delta_0\%$   
約2.8ミクロンから3ミクロンの範囲の $a_0$

約 - 0.10 % 未満の  $\Delta_1$  %  
 約 6 から 8 ミクロンの範囲の  $a_1$   
 約 0.50 % から 0.8 % の範囲の  $\Delta_2$  %  
 約 8 から 10 ミクロンの範囲の  $a_2$   
 約 - 0.10 % 未満の  $\Delta_3$  %  
 約 13 から 16 ミクロンの範囲の  $a_3$   
 $a_3$  にほぼ等しい半径  $a$

負の  $\Delta$  % セグメント上の下限は、導波路ファイバ性能要求よりどちらかと言うと、本質的に処理能力によって設定される。現在、約 - 0.8 % のレベルが達せられる。

【0032】 アルファ輪郭は、三角形形状すなわちアルファ = 1、放物線形状すなわちアルファ = 2 と、アルファが 4 又はさらに多くの範囲にある時、ステップに近付き始める曲線の連続を記述する。アルファ輪郭はその中央線の上に反転された円錐形で屈折率くぼみを有し得る。モデルはこのようなくぼみを受け入れるために十分な耐屈曲性を有している。

【0033】 4 つのコアセグメントの屈折率分布を有するコア領域の望ましい実施例が図 11 で示され、下表の 20 特徴を有している。

【0034】

【表 2】

約 0.65 % から 1.00 % の範囲の  $\Delta_1$  %  
 3.35 +/- 0.30 ミクロンと等しい  $r_1$   
 約 - 0.10 % 未満の  $\Delta_2$  %  
 7.2 +/- 0.60 ミクロンと等しい  $r_2$   
 約 0.50 % から 0.85 % の範囲の  $\Delta_3$  %  
 9.1 +/- 0.70 ミクロンと等しい  $r_3$   
 約 - 0.10 % 未満の  $\Delta_4$  %  
 14.5 +/- 1.0 ミクロンと等しい  $r_4$

これらの分布パラメタの定義は下に与えられる。

【0035】 5 つのコアセグメントのコア屈折率分布の場合において、該分布のファミリーが次のように定義される。屈折率分布は導波路中心に始まり、そして外方へ進んでいること、第 1 のコアセグメントが、約 0 から 0.20 % の範囲の  $\Delta_1$  % 及び光導波路ファイバの中心線から測定して約 0.50 から 1.50 ミクロンの範囲の半径を有していること、第 2 のコアセグメントが、約 0.5 % から 1.2 % の範囲の  $\Delta_2$  % 及び約 0.5 から 4.5 ミクロンの範囲の半径  $a$  を有していること、第 3 のコアセグメントが約 - 0.1 % 未満の  $\Delta_3$  % 及び約 6 から 12 ミクロンの範囲の  $a_2$  を有していること、第 4 のコアセグメントが約 0.2 % から 0.8 % の範囲の  $\Delta_4$  % 及び約 7 から 16 ミクロンの範囲の  $a_3$  を有していること、第 5 のコアセグメントが約 - 0.1 % 未満の  $\Delta_5$  % 及び約 13 から 26 ミクロンの範囲の  $a_4$  を有していること、並びにコア半径  $a$  は約 25 から 35 ミクロンの範囲にあるこ 50

とである。

【0036】 望ましい実施例の多くで、コア半径は最終のコアセグメントの外の半径と一致する。この分布のファミリーによって記述されるコア屈折率分布を有する光導波路は、350 平方ミクロンより大きい実効面積を有し、さらに強度又は疲労抵抗のような減衰又は他の性能特性の重要な劣化無しで、基準ステップ屈折率導波路のそれより優れている屈曲抵抗性を有することができる。

【0037】 上記した 5 つのコアセグメントの実施例において、第 1 のセグメントは、著しい導波路特性に影響を与えないで、いろいろなアルファ輪郭の形状をとり得る。同じく、アルファ輪郭は反転円錐形で屈折率における中央のくぼみを含め得る。この中央のくぼみは、プリフォーム製造中のドーピング制御の結果、又は製造中のプリフォームのドーパント及び拡散の制御の結果として生ぜしめることができる。

【0038】 本発明のコア屈折率分布の第 3 の実施例は 3 つの負の屈折率セグメントによって特徴づけられるコアを有する導波路である。第 1 のコアセグメントは約 - 0.10 % 未満の  $\Delta_1$  % 及び約 0.1 から 2.5 ミクロンの範囲の  $a_1$  を有する。第 2 のコアセグメントは約 0.5 % から 1.2 % の範囲の  $\Delta_2$  % 及び約 0.5 から 4.5 ミクロンの範囲の  $a_2$  を有する。

【0039】 第 3 のコアセグメントは約 - 0.1 % 未満の  $\Delta_3$  % 及び約 6 から 12 ミクロンの範囲の  $a_3$  を有する。第 4 のコアセグメントは約 0.2 % から 0.8 % の範囲の  $\Delta_4$  % 及び約 7 から 14 ミクロンの範囲の  $a_4$  を有する。第 5 のコアセグメントが約 - 0.1 % 未満の  $\Delta_5$  % 及び約 13 から 30 ミクロンの範囲の  $a_5$  を有する。

【0040】 コア半径  $a$  は約 20 から 35 ミクロンの範囲にある。これらの好ましい実施例の選択は、製造の容易さ、関連製造コスト並びに首尾一貫して目標の  $A_{eff}$  及び屈曲抵抗をもたらす設計能力を考慮して決定される。ほとんどの 4 セグメント設計において 2 つの屈折率くぼみを得る目的のために、中心上でアルファ輪郭を使い、残っているコアセグメントでステップ屈折率分布を使うことは、コスト性能が最も効率的である。すべてのセグメントでステップ屈折率分布を使っている 5 セグメント設計はある場合には好適である。

【0041】 これらのセグメント化されたコア設計の多くの順列と結合が可能であることは明確である。よって、これらの特定な実施例が屈折率分布のファミリーの部材を示すと理解される。本発明の範囲はこの屈折率分布のファミリーを含む。一般に好適な導波路コア設計を保証するモデリングで求められる特性は、半径によって重みをかけられたモードパワー分布が少なくとも 2 モードであることである。モードパワーは伝搬電界の平方に比例している。望ましい実施例において、モデルは 2 モードパワー分布が 2 つのピークを有する曲線であるそれらのコア設計を発見するために使われる。



【0042】第1のモードパワー最大値が0から5ミクロンの間の半径において、第2のモードパワー最大値が8ミクロンより大きい半径において起こる実施例は、少なくとも基準ステップ屈折率導波路ファイバのために指定したものと比べて同じぐらい良い屈曲抵抗性と大きい $A_{eff}$ を有する導波路ファイバを提供する。

#### 【0043】

【発明の実施の形態】特定のセグメント化されたコア設計の特性の調査は、高容量長距離の導波路ファイバに対する常に増加する要求を有しそのペースを保持し続けら

れている。テラビット範囲でのデータ速度が調査されており、そして100kmを越える再生器間隔を有するシステムが検討されている。

【0044】上記出願、例えば、特許出願第08/378,780号においては、コアが大きい実効面積を有する光導波路ファイバをもたらすことができるから、クラッドより低い屈折率を有するコアセグメントを含む設計はさらに研究されるべきである、ことを提案した。この応用で明らかにした発見は、実際、実効面積は、前に報告したよりずっと大きくでき、少なくともクラッドの屈折率より低い屈折率を有する1つのコアセグメントを含んでいる設計で可能であるということである。さらに、本発明のコア設計は十分に発射光を閉じ込め、基準ステップ屈折率単一モードファイバと比較して屈曲抵抗における劣化がない、大きい $A_{eff}$ 導波路を提供する。設計の多くでは、大きい $A_{eff}$ 導波路は基準ステップ屈折率単一モードと比較して優れた屈曲性能を示す。

【0045】本発明のコア屈折率分布の一般的な実施例が図1に示される。コアは4つの屈折率セグメントからなり、第1のセグメント8と、丸いステップ屈折率分布形状を有する第3のセグメント4と、クラッドの屈折率より低い屈折率を有する2つの領域2で構成されている。第1のセグメントにおける波線曲線6は第1のセグメント屈折率分布のために他の可能な形状を示す。セグメント4も同じく導波路ファイバ特性上に重要な影響無しでいろいろな形状を持つことができる。低い屈折率分布セグメント2は幅と極小の屈折率に関してお互いに異なり得る。同じく、セグメント2がわずかに正か又は負の勾配を有することができ、そして形状では幾分丸くすることもできる。セグメント2のための $\Delta\%$ 上の下限は、処理能力に依存する。約-0.80%の $\Delta$ パーセント値は特定の特性を有する導波路を提供する。

【0046】この屈折率分布の伝搬光上の効果は、8及び隣接の低屈折率領域2によって画定される第1のセグメントでの伝搬パワーの一部を閉じ込めることである。光パワーの第2の部分は、低屈折率の外部領域2と一緒に構造4によって案内される。大きい $A_{eff}$ は、導波路中心から離れてパワーを案内する構造4の結果である。屈曲抵抗は、光閉じ込めが外部低屈折率領域2によってなされるから、犠牲にされない。

【0047】新規セグメント化コア設計の4セグメント実施例の2モードパワー分布は図2で示され、そしてそれは半径の関数として重みをかけられた電界強度のグラフである。内部ピーク10はセグメント化されたコアの第1のセグメント導波路構造に対応する。ピーク12はコア周囲近くに配置された導波路構造に対応する。ピーク12の振幅は、半径が増加すると急激に減少して、光がよく閉じ込められ屈曲抵抗が良くなることを確保している。

【0048】屈折率分布 $\Delta$ 及び半径の画定は、図11で示される。図11に示すように4セグメント実施例においては、 $\Delta_1\%$ 、 $\Delta_2\%$ 、 $\Delta_3\%$ 及び $\Delta_4\%$ の各位置は68、70、72及び74である。モデル計算で使われた4セグメントの各半径は、導波路ファイバ中央線からすべて測定され、76、78、80及び82として図11に示される。これら又は $\Delta\%$ 及び半径の類似した定義はすべてのモデル計算で使われる。

【0049】図2に含まれる特定の設計された特性は $A_{eff}=210$ 平方ミクロンであり、ファイバ上で測られたカットオフ波長が1562nmである。ケーブル構造においては、カットオフ波長は通常200nmから400nm減少する。よって、カットオフ波長に関して、設計されたファイバは1310nm又は1550nm窓で高い性能システムに適している。

【0050】モデルは予定された導波路ファイバ特性と比較することによって実際の精度についてテストされた。図3に示すように屈折率分布は、中心アルファ輪郭14、減少した屈折率領域16及び丸いステップ屈折率リング18を有する実際の導波路ファイバ分布である。導波路中央線上の拡散領域に注意されたい。モデルは、この反転された円錐形状、中央線屈折率くぼみを考慮に入れる。表1は、実際の及びモデルのカットオフ波長間の200nmオフセットを例外として、モデルと実際の導波路ファイバ特性の間に優れた一致を示す。測定中の導波路の物性についてのカットオフ波長の依存という条件のもとで、この差は受容できると見なされる。図3に示すように屈折率分布の例が負の $\Delta\%$ を有するセグメントを含まないけれども、この例はここに開示した屈折率分布のファミリーのためのモデルの一般的な精度を示す。

#### 【0051】

##### 【表3】

	カット オフ波長	分散 勾配	ゼロ 分散	MPD ミクロン	屈曲 dB
測定値	1700nm	0.122	1538nm	10.0	8.4
モデル 予定値	1900nm	0.120	1539nm	10.2	4.6

ーンは図 4 の曲線 2 4 として示される。二重のピークパターンは、図 4 の曲線 2 0 として示された基準分散シフトファイバのパターンと明らかに異なっている。基準分散シフト導波路ファイバ屈折率設計は、アルファ輪郭を有する第 1 のセグメントと、クラッド層と近い屈折率を有する平らな屈折率分布のリングと、丸いステップ屈折率形を有する第 2 のリングとを含む。

【0052】アメリカ合衆国特許出願第 08 / 3 7 8, 7 8 0 号開示の大実効面積設計のカテゴリは、曲線 2 2 によって示される重みをかけられた電界強度の特性を有している。思ったように、これらの設計は、より大きい半径に向かって外へ移行した領域を有する重みをかけられた電界強度パターンを示す。完全性のために、これらの 3 つの別個のコア分布設計の電界強度は図 1 0 に示される。曲線 6 4 が基準分散シフト導波路ファイバの電界強度であり、曲線 6 6 は上記特許出願第 08 / 3 7 8, 7 8 0 号の設計の電界強度であり、そして曲線 6 2 は本発明の大実効面積設計の電界強度の特性である。二重のピーク曲線 6 2 は他の 2 つの設計の特性を示した曲線と全く異なっている。

【0053】図 5 ( a )、図 5 ( b ) 及び図 5 ( c ) は、クラッド屈折率より低い屈折率分布の 2 つの領域を有する屈折率分布設計の変更例を示す。各図は、2 つの低い屈折率領域 2 6 及び 2 つのステップ又は丸いステップ屈折率領域 2 8 を示す。図 5 ( a ) の設計はクラッド屈折率と一致するコア領域 3 0 を含む。これらの 3 つの屈折率分布からの望ましい実施例が図 5 ( c ) で示される。2 つの低屈折率領域はコア領域の第 1 のセグメントから離れて位置している。よって、電界分布はそれによって実効面積が増加している導波路中心から離れて動かされる。コア領域周囲における低屈折率リングは伝搬光を閉じ込め、導波路で保持して、受容できる屈曲抵抗を提供する機能をなす。

【0054】他の第 1 のセグメント分布はステップ屈折率分布 2 8 の近くで破線曲線として図 5 ( c ) に示される。それらを含これらの選択肢は、中央線の上に拡散くぼみを含むめて、すべてが受容できる実効面積及び R 比をもたらす。

( 実施例 1 - 2 つの低屈折率分布 ) 図 6 においては、設計されたコア領域分布は中央の拡散くぼみ 3 0 を有し、これは反転された円錐に類似しており、約 0.18 の極小の  $\Delta\%$  及び約 1 ミクロンの最大の半径を有する。第 1 のリング 3 2 は極大  $\Delta\%$  0.80 の丸いステップ屈折率及び約 3 ミクロンの半径  $a_0$  を有する。低屈折率分布セグメント 3 4 は、-0.18 の屈折率  $\Delta\%$  及び約 7.5 ミクロンの半径  $a_1$  を有する。第 2 のリング 3 2 は約 0.50 の  $\Delta\%$  を有する丸いステップ屈折率であり、約 11 ミクロンの  $a_2$  を有する。低屈折率分布セグメント 3 4 は -0.18 の屈折率  $\Delta\%$  と約 2.3 ミクロンの半径  $a_3$  とを有している。コア領域は、その屈折率がクラッド層の

それに達する点において終わり、それはこの場合約 2.4 ミクロンの半径である。

【0055】この実施例の設計された特性は次表に示される。

【0056】

【表 4】

モードフィールド直径	9.8 ミクロン
$D_{eff}$	18.1 ミクロン
$A_{eff}$	257 平方ミクロン
R	3.41
カットオフ波長	1809 nm
ゼロの分散	1561 nm
分散勾配	0.15 ips/nm <sup>2</sup> -km

屈曲性能は基準ステップ単一モード導波路のそれと等しい。

【0057】設計された導波路は 1535 nm から 1575 nm の範囲上に稼働する高い性能導波路遠隔通信システムのあらゆる点で理想的である。しかしながら、分散勾配は 1310 nm 及び 1550 nm 窓両方において稼働するシステムのためにより低くあるべきである。改善された分散勾配に対して実効面積はトレードオフにある。又は、他の選択肢として、1310 nm 窓での低い全分散を供給するセグメント化されたコア分布が設計され得る。

( 比較級例 2 ) 図 7 に示すコア屈折率分布は、ただ第 1 のセグメント屈折率が三角形であるという点でだけ、図 6 のそれとは違っていて、そしてそれは約 0.7 の極大  $\Delta\%$  を有し、中央線上の拡散円錐を有さず、約 4 ミクロンの  $a_0$  である。

【0058】設計されたパラメタは次表に示される。

【0059】

【表 5】

モードフィールド直径	10.0 ミクロン
$D_{eff}$	16.4 ミクロン
$A_{eff}$	210 平方ミクロン
R	2.69
カットオフ波長	1834 nm
ゼロの分散	1562 nm
分散勾配	0.16 ps/nm <sup>2</sup> -km

コア中心の近くの屈折率分布の大きい変更が導波路パラメタ上での小さい効果を有することに注意すべきである。

【0060】3 つの低屈折率領域 3 6 を有する分布は図 8 に示される。リング 3 8 はステップ屈折率であることを示されるが、しかし丸いステップ屈折率でもよい。さらに第 1 のリングはアルファ輪郭でもよい。

(例 3 - 3 セグメント低屈折率分布) 図 9 (a) の分布は、3 つの低屈折率領域、すなわち、その屈折率がクラッド層 5 2 のそれより低い領域と、2 つの丸いステップ屈折率リング 5 4 とを含む。第 1 の低屈折率領域は、 $-0.18$  の極小の  $\Delta\%$  及び約 1 ミクロンの極大半径を有する反転された円錐である。中心から続けて、残るコア領域のための半径と  $\Delta\%$  は、それぞれ、3 ミクロンと  $0.85\%$ 、7 ミクロンと  $-0.18$ 、10 ミクロンと  $0.7\%$ 、そして 20 ミクロンと  $-0.18$  の % である。

【0061】このコア屈折率分布は以下の設計された導波路パラメタをもたらす。

【0062】

【表 6】

モードフィールド直径	9.65 ミクロン
$D_{eff}$	15.96 ミクロン
$A_{eff}$	200 平方ミクロン
R	2.74
カットオフ波長	1740 nm
ゼロの分散	1562 nm
分散勾配	0.137 ps/nm <sup>2</sup> -km

(比較例 4 - 3 低屈折率コア領域) 図 9 (b) の屈折率分布は、中央拡散反転円錐の幅が、ただ中央線分布の小さい部分だけがクラッドの屈折率より低い屈折率を有しているように、絞られたこと以外、本質的に例 3 のそれと全く同じである。

【0063】設計された導波路特性は次表に示される。

【0064】

【表 7】

モードフィールド直径	9.79 ミクロン
$D_{eff}$	18.42 ミクロン
$A_{eff}$	267 平方ミクロン
R	3.54
カットオフ波長	1738 nm
ゼロの分散	1544 nm
分散勾配	0.124 ps/nm <sup>2</sup> -km

図 9 (a) 及び図 9 (b) の分布の結果を比較すると、図 9 (b) の分布が望ましいと導かれる。なぜなら、R 比がより高く、カットオフ波長が実質的に影響しないされず、そして、ゼロ分散は波長窓 1535 nm から 1575 nm でもっと良く WDM に合わせられ、これはエルビウム光増幅器動作に本質的に一致するからである。

【0065】例 3 及び比較例 4 は、セグメント化されたコア分布のモデルをする必要性を明らかに証明する。セグメント化されたコア概念中で可能な分布の数は本質的に無限である。よって、所定の設定特性を有する分布のファミリーを見つけたす最も効率的そして時間/コスト

的に効率的な方法は、新規セグメント化コア導波路の実際の製造前に広範囲の設計研究を実行することである。

【0066】図 11 に示す実施例のために、分布パラメタ限界は本発明の概要に与えられる。図 11 に示したコア設計ファミリーにおける約 2500 の屈折率分布が設計された。計算された導波路特性を次表に示す。

【0067】

【表 8】

$\lambda_c = 1580 \pm 30$ nm
全分散勾配 = $0.085 \pm 0.02$ ps/nm <sup>2</sup> -km
モードフィールド直径 = $8.0 \pm 0.5$ ミクロン
$A_{eff} = 265 \pm 35$ ミクロン
$\lambda_c = 1850 \pm 100$ nm
ピンアレイ屈曲損失平均 = 9.6 dB
ピンアレイ端部損失中間数 7.0 dB
ピンアレイ範囲は 3 から 25 dB であった。

【図面の簡単な説明】

20 【図 1】4 セグメント有する光導波路ファイバにおけるクラッド層の屈折率より小さい屈折率を有する 2 つのセグメントを有するコア屈折率分布のグラフ。

【図 2】新規なコア屈折率分布の代表的な実施例のために重みをかけられた電界強度対半径のグラフ。

【図 3】セグメント化されたコア屈折率分布のグラフであり、設計されたパラメタがこの屈折率分布を有する導波路ファイバ上に測ったパラメタと比較されたことを示す。

30 【図 4】3 セグメント化されたコア導波路タイプのための重みをかけられた電界強度のグラフ。

【図 5】5 セグメント有する光導波路ファイバにおける、クラッド層の屈折率より小さい屈折率を有する 2 つのセグメントを有するコア屈折率分布のグラフ。

【図 6】図 5 に示す実施例の変更例のグラフ。

【図 7】4 セグメントを有し、第 1 の三角形セグメントを有するように設計されたコア屈折率分布のグラフ。

【図 8】5 セグメント有する光導波路ファイバにおける、クラッド層の屈折率より小さい屈折率を有する 3 つのセグメントを有するコア屈折率分布のグラフ。

40 【図 9】5 セグメント有する光導波路ファイバにおける、クラッド層の屈折率より小さい屈折率を有する 3 つのセグメントを有するコア屈折率分布のグラフ。

【図 10】本発明のコア屈折率分布の代表的な実施例のための電界強度対半径のグラフ。

【図 11】4 セグメントを有するコア屈折率分布のグラフであって、屈折率分布  $\Delta$  とモデルで使った半径との定義を示す。

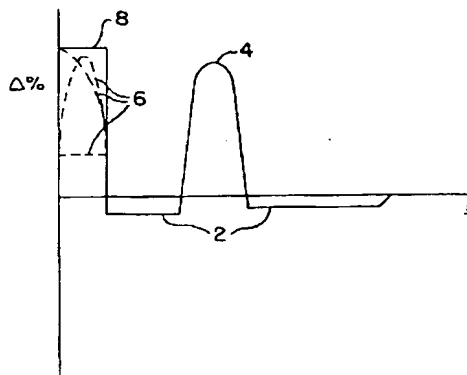
【主要部分の符号の説明】

2 低屈折率分布セグメント

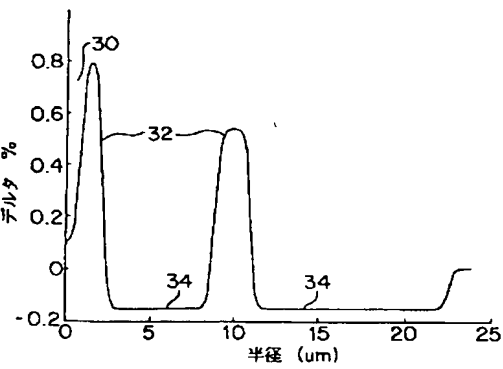
4 第 3 のセグメント

6, 8 第1のコア領域セグメント

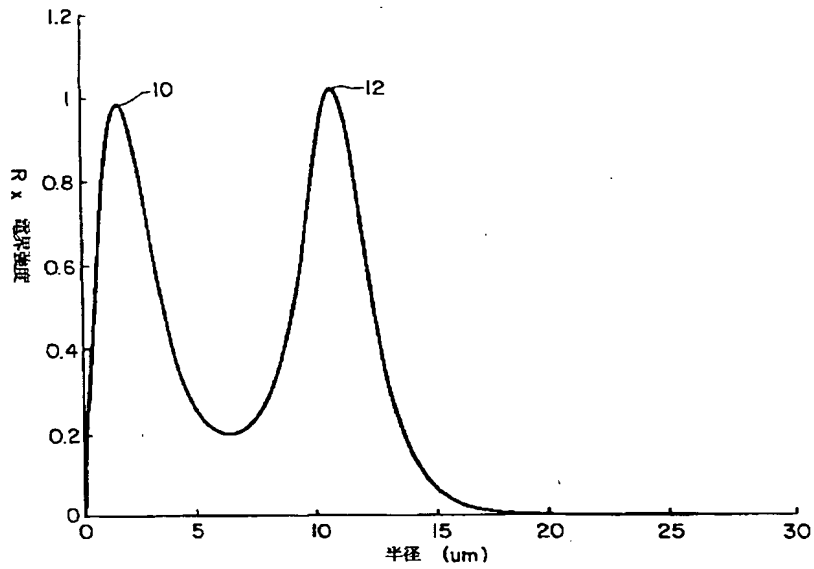
【図1】



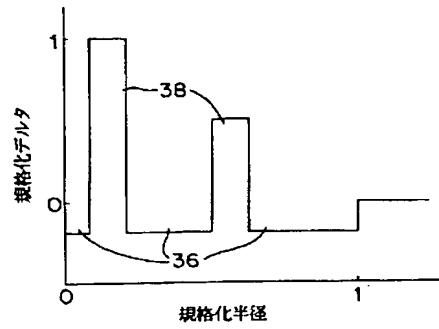
【図6】



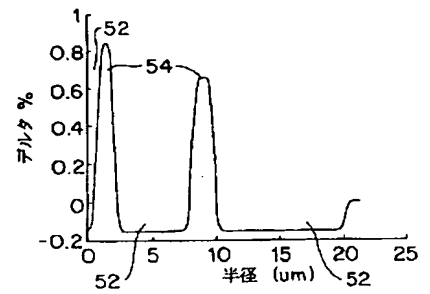
【図2】



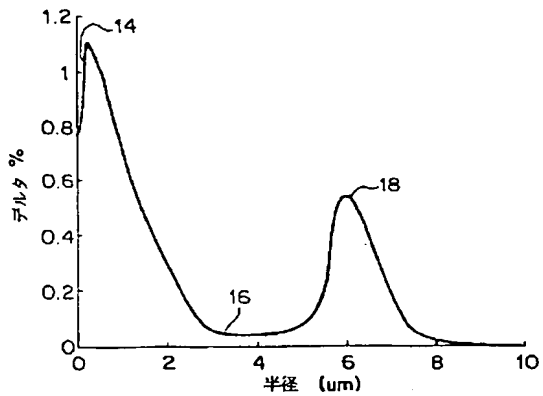
【図8】



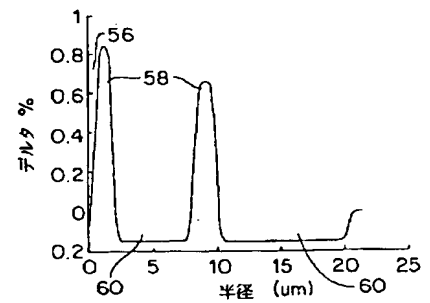
【図9】



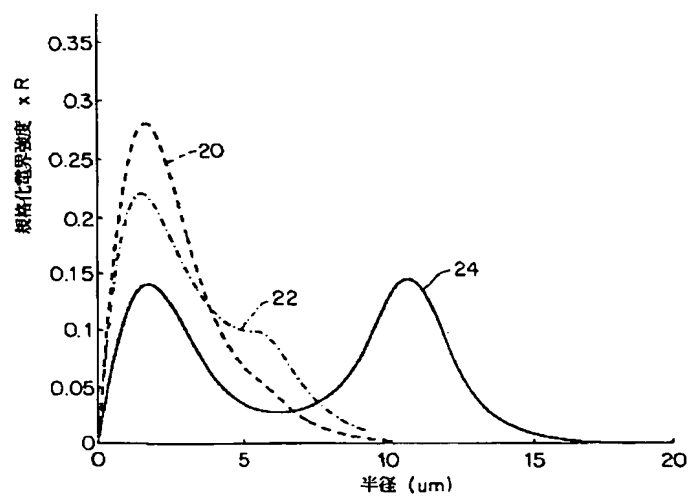
【図3】



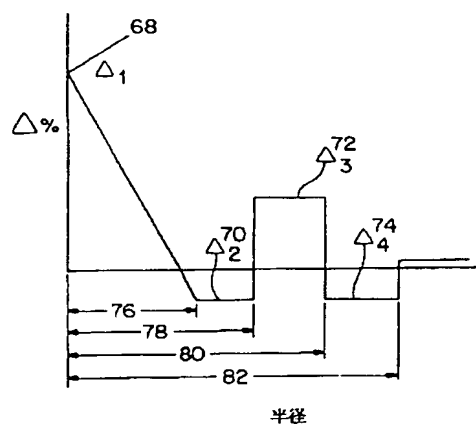
(a)



【図 4】



【図 11】



【図 5】

